

(Уральский политехнический институт им. С. М. Кирова)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В работах [1—5] авторы исследуют процесс получения изделий и полуфабрикатов путем деформации гранулированных материалов. Отмечаются положительные стороны данного процесса [2].

1. Исключаются операция отливки слитков и связанные с ней повышенные отходы металла; отпадает необходимость в дорогостоящем литейном оборудовании, оборудовании для механической обработки слитков и т. д.

2. Открываются большие возможности получения принципиально новых сплавов со специфическими свойствами: дисперсно-упрочняемых, композиционных, пористых и т. п.

3. Изделия, полученные из гранул, обладают повышенными прочностными характеристиками по сравнению с изделиями, полученными из ли- того компактного материала [3, 5].

Вместе с тем существует необходимость проведения дальнейших теоретических и экспериментальных исследований с целью изучения закономерностей этого процесса.

Одной из важнейших характеристик сжимаемого некомпактного материала является зависимость относительной плотности материала $\frac{\rho}{\rho_0}$ от прилагаемого гидростатического давления σ

$$\frac{\rho}{\rho_0} = f(\sigma) \quad (1)$$

Принято получать данную зависимость (компрессионную кривую) экспериментально — из опытов закрытого прессования некомпактного материала пуансоном в глухом контейнере. Характер зависимости экспоненциальный и хорошо описывается уравнением, предложенным Б. Д. Юрченко и Н. Ф. Куниным [2, 6]:

$$\frac{\rho}{\rho_0} = a - b \exp(-c\sigma), \quad (2)$$

где ρ_0 — плотность компактного материала;

a, b, c — постоянные коэффициенты.

Следует отметить, что даже при заранее известном характере зависимости (1) требуется наличие минимум трех точек для нахождения постоянных коэффициентов a, b, c и конструирование функции (2), для чего необходимо проведение эксперимента.

Авторы данной работы поставили задачу априорного вывода зависимости типа (1) на основании лишь характеристик компактного материала.

Рассмотрим деформацию сжатия в глухом контейнере металлических гранул, имеющих форму шариков одинакового радиуса. Допустим, что гранулы в контейнере имеют идеальную упаковку, трение между гранулами и стенкой контейнера отсутствует, среда жестко-пластическая. Воспользуемся решением, полученным для описания пластического состояния полый сферы, находящейся под действием внешнего давления [7]. Согласно этому решению внешнее гидростатическое давление σ , переводящее сферу в пластическое состояние, равно

$$\sigma = 2\sigma_s \ln \frac{r_1}{r_2} \quad (3)$$

где σ_s — предел текучести материала;
 r_1 и r_2 — соответственно наружный и внутренний радиусы сферы.

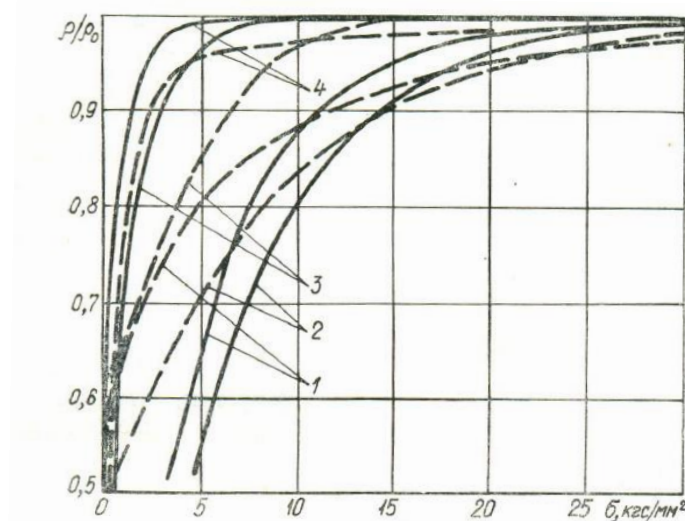


Рис. 1. Зависимости относительной плотности от гидростатического давления при прессовании гранул алюминия 1, цинка 2, олова 3, свинца 4:
 — расчет по формуле (5); ----- экспериментальные данные.

Из формулы (3) следует, что давление зависит от размера полости внутри сферы. Выразив отношение радиусов через отношение объемов сферы и полости и далее через относительную плотность некомпактного материала $\frac{\rho}{\rho_0}$, получим формулу для расчета гидростатического давления σ , необходимого для пластической деформации некомпактного материала заданной плотности:

$$\sigma = \frac{2}{3} \sigma_s \ln \frac{1}{1 - \frac{\rho}{\rho_0}} \quad (4)$$

Отсюда

$$\frac{\rho}{\rho_0} = 1 - \exp\left(-\frac{3}{2} \frac{\sigma}{\sigma_s}\right) \quad (5)$$

Для экспериментальной проверки формулы (5) были поставлены опыты по прессованию в глухом контейнере гранул из алюминия, цинка, олова

и свинца (все металлы марки ЧДА). Прессование проводилось при комнатной температуре в контейнере диаметром 25 мм на универсальной испытательной машине УИМ-30. В процессе прессования замерялась текущая высота образца h и фиксировалось усилие деформации P по динамометру машины. Текущие значения плотности образца ρ и удельного давления прессования p рассчитывались по формулам

$$\rho = \frac{4G}{\pi d^2 h}; \quad p = \frac{4P}{\pi d^2}, \quad (6)$$

где G и d — соответственно вес и диаметр образца.

По барометрической формуле Бальшина-Балльхаузена [8] рассчитывалось аксиальное давление на дне контейнера σ_d :

$$\sigma_d = p \exp\left(-4\mu\nu \frac{h}{d}\right), \quad (7)$$

где μ — коэффициент трения материала о стенку контейнера;

ν — коэффициент Пуассона.

Среднее по высоте образца аксиальное напряжение σ_z определим по формуле

$$\sigma_z = \frac{1}{2}(\sigma_d + p). \quad (8)$$

Допустим, что радиальное σ_r и тангенциальное σ_ϕ напряжения в объеме образца равны и определяются как

$$\sigma_r = \sigma_\phi = \xi \sigma_z, \quad (9)$$

где $\xi = \frac{\nu}{1-\nu}$ — коэффициент бокового давления [8].

Таким образом, зная поле напряжений в образце, подсчитаем среднее гидростатическое давление

$$\sigma = \frac{1}{3}(\sigma_z + 2\sigma_r). \quad (10)$$

Результаты расчета гидростатического давления в конечный момент прессования для испытываемых материалов представлены в табл. 1. На рис. 1 изображены зависимости (1) для различных материалов, полученные экспериментальным путем и расчетом по формуле (5).

Сравнение опытных и расчетных данных показало удовлетворительную сходимость результатов. Некоторое расхождение связано, очевидно, с допущениями, принятыми при постановке задачи.

Таким образом, формула (5) может быть использована для оценочного расчета компрессионных кривых при прессовании гранул с известным пределом текучести материала.

В качестве модельного материала при экспериментальном исследовании процесса открытого прессования использовались гранулы из олова марки ЧДА размерами 2—3 мм. Брикетирование проводилось при комнатной температуре в контейнере диаметром 25 мм без смазки на машине УИМ-10 максимальным давлением машины 10 т. Брикет, спрессованный из гранул,

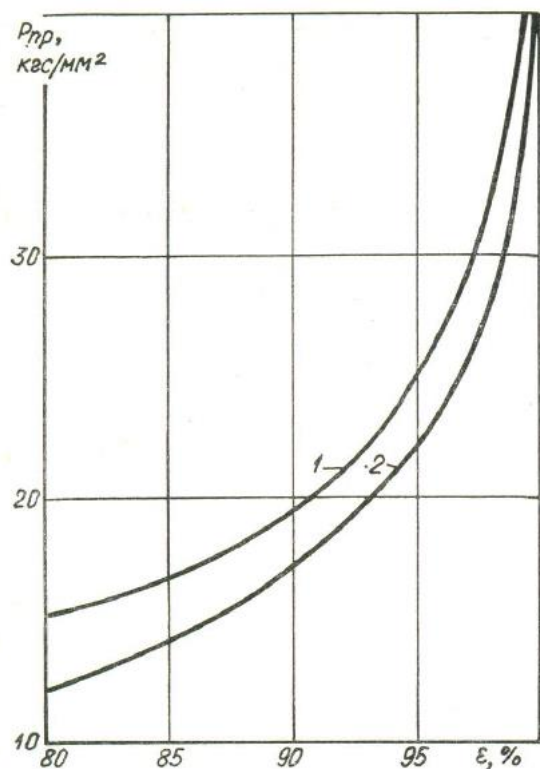


Рис. 2. Зависимость удельного давления от степени деформации при прессовании литого 2 и гранулированного 1 материалов.

Таблица 1

**Данные для расчета гидростатического давления в конечный момент
прессования**

Материал гранул	m	v	$\frac{2h_1}{d}$	p , кгс/мм ²	σ_d , кгс/мм ²	ξ	σ_r , кгс/мм ²	σ , кгс/мм ²
Олово	0,20	0,33	1,68	20,4	16,3	0,49	9,0	12,1
Алюминий	0,15	0,33	1,84	51,1	42,5	0,49	22,9	30,9
Свинец	0,20	0,33	1,68	40,8	32,7	0,49	18,1	24,3
Цинк	0,15	0,33	1,76	51,1	43,0	0,49	23,0	31,0

помещались в контейнер того же размера и выдавливались в матрицы с диаметрами очка 16, 12, 10, 8, 6, 4, 3 мм на машине УИМ-30. Для сравнительной оценки энергосиловых параметров процесса и механических свойств изделий в матрицы тех же размеров выдавливались литые компактные заготовки. Зависимость удельного давления прессования от степени деформации представлена на рис. 2, из которого видно, что давление при прессовании гранул выше, чем при прессовании компактного материала для всех степеней деформации. Это явление объясняется, по-видимому, наличием на поверхности гранул окисных пленок, прочностные характеристики которых значительно выше, чем у металла [9].

На рис. 3 представлены зависимости предела прочности σ_b прутков, полученных из гранул и из литого металла, от степени деформации ε . Механические свойства прутков диаметрами 12 и 16 мм, отпрессованных из гранул, определить не удалось, так как степень деформации оказалась недостаточной для получения изделия минимальной прочности. Из рис. 3 и табл. 2 следует, что при $\varepsilon > 87\%$ σ_b прутков, полученных из гранул, выше, чем σ_b прутков из литого материала.

Металлографический анализ прутков из гранул показал, что при $\varepsilon < 87\%$ соединение гранул происходит вследствие схватывания окисных пленок гранул друг с другом без нарушения их сплошности. При $\varepsilon = 87\%$

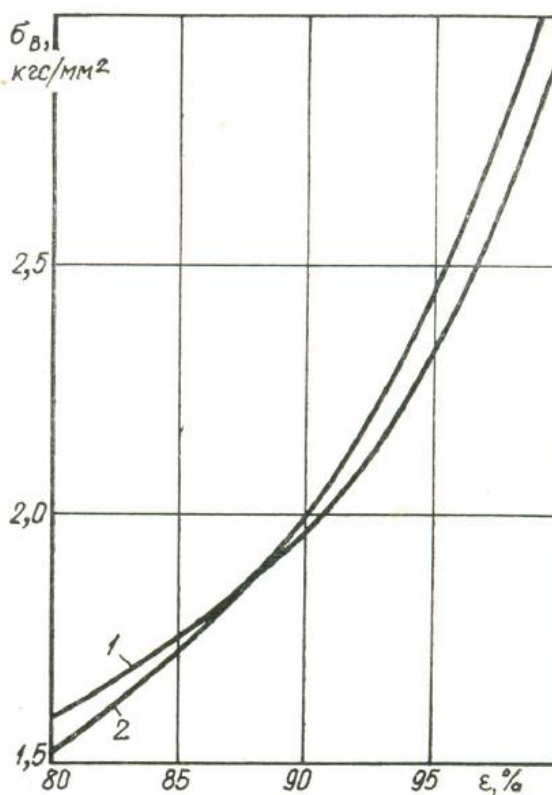


Рис. 3. Изменение предела прочности от степени деформации для прутков, отпрессованных из литой заготовки 1 и гранулированного материала 2.

Таблица 2

Механические свойства прутков, полученных из гранул (знаменатель) и из литого материала (числитель), в зависимости от степени деформации при прессовании

Вытяжка λ	Степень деформации ε , %	Предел прочности σ_b , кгс/мм ²	Относительное удлинение δ , %
6,3	85,0	$\frac{1,80}{1,70}$	$\frac{100}{60}$
9,8	90,4	$\frac{1,92}{2,03}$	$\frac{120}{94}$
17,3	94,5	$\frac{2,22}{2,45}$	$\frac{92}{92}$
39,0	97,8	$\frac{2,72}{2,83}$	$\frac{100}{92}$
69,5	98,8	$\frac{2,83}{2,97}$	$\frac{110}{82}$

начинается разрушение окисных пленок с образованием мостиков схватывания между ювенильными поверхностями металла. Дальнейшее увеличение степени деформации приводит к росту размеров мостиков сцепления. Окисные пленки, находящиеся в объеме металла, повышают предел прочности и снижают пластические характеристики металла в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берман С. И., Залесский В. И., Иманов Х. И., Шеламов В. А. «Порошковая металлургия», 1969, № 12, 14.
2. Северденко В. П., Иосифов В. Н. «Порошковая металлургия», 1970, № 12, 24.
3. Северденко В. П., Иосифов В. Н. «Порошковая металлургия», 1973, № 2, 87.
4. Берман С. И., Шеламов В. А., Шехирев Р. И. «Цветные металлы», 1967, № 8, 82.
5. Глазунов С. Г., Солонина О. П., Черешнева И. Ф. — В кн.: Сплавы цветных металлов. М., «Наука», 1972, с. 32.
6. Кунин Н. Ф., Юрченко Б. Д. «Порошковая металлургия», 1963, № 6, 3.
7. Ильюшин А. А., Ленский В. С. Сопротивление материалов. М., Физматгиз, 1959, с. 184.
8. Аксенов Г. И. Основы порошковой металлургии. Куйбышевское кн. изд-во, 1962, с. 64—66.
9. Упит Г. П. «Изв. АН Латв. ССР», 1958, № 1, 95.